

# 西藏亚贵拉矿区两期岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及地质意义

黄克贤<sup>1,2</sup>, 郑远川<sup>2</sup>, 张松<sup>1,2</sup>, 李为<sup>1,2</sup>, 孙清钟<sup>2</sup>, 李秋耘<sup>1,2</sup>, 梁维<sup>1,2</sup>,  
付强<sup>1,2</sup>, 侯增谦<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037)

**摘要:** 亚贵拉 Pb-Zn-Ag 矿床是冈底斯北侧 Pb-Zn 多金属成矿带内的一个大型矿床。钻孔编录发现, 亚贵拉区内棕红色花岗斑岩和灰白色石英斑岩均被大量的含硫化物石英脉穿切。同时, 与这两套斑岩直接接触的灰岩地层内同样伴有强烈的硫化物矿化和矽卡岩化。本文采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年技术, 对矿区含矿棕红色花岗斑岩和灰白色石英斑岩分别进行了年代学研究, 得到两者锆石的加权平均年龄分别为  $132.1 \pm 1$  Ma 和  $62.4 \pm 0.6$  Ma。在钻孔编录过程中未发现典型沉积喷流成因的矿体, 而绝大部分矿体以含有大量矽卡岩矿物为特征, 表明亚贵拉 Pb-Zn-Ag 多金属矿床应主要受岩浆热液控制。锆石 U-Pb 定年结果显示, 该矿区首先经历了早白垩世与棕红色花岗斑岩有关的岩浆事件, 然后于古新世又受到了与灰白色石英斑岩有关的含矿热液富集沉淀。结合已有研究资料分析可知, 冈底斯北带的成矿作用从白垩纪一直持续到中新世, 且均以 Pb-Zn-Ag 等贱金属矿化为特征, 显示冈底斯北带古老基底对矿化金属类型的强烈控制。

**关键词:** 矽卡岩矿床; 锆石 U-Pb 定年; 成矿作用; 亚贵拉; 西藏

中图分类号: P597+.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2012)03-0348-13

## LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of two types of porphyry in the Yaguila mining area, Tibet

HUANG Ke-xian<sup>1,2</sup>, ZHENG Yuan-chuan<sup>2</sup>, ZHANG Song<sup>1,2</sup>, LI Wei<sup>1,2</sup>, SUN Qing-zhong<sup>2</sup>,  
LI Qiu-yun<sup>1,2</sup>, LIANG Wei<sup>1,2</sup>, FU Qiang<sup>1,2</sup> and HOU Zeng-qian<sup>2</sup>

(1. School of Earth and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** The Yaguila Pb-Zn-Ag deposit is a large-size ore deposit on the north margin of Gangdise. Some experts considered that the ore deposit was formed by marine jet flow superimposed by magmatism, whereas others thought that it was formed only by magmatism. Detailed drill hole investigations into the Yaguila ore deposit show that both the light brown porphyry and the gray quartz porphyry contain a large volume of ore-bearing stockwork quartz veins. Meanwhile, large amounts of massive ores are developed along the contact zone between the two types of porphyries and limestone. Therefore, both the light brown porphyry and the gray porphyry must have played an important role in mineralization of the Yaguila ore deposit. In the present study, the authors analyzed zircon U-Pb ages for the two kinds of porphyries by using LA-ICP-MS. Mean ages of the concor-

收稿日期: 2011-11-02; 修订日期: 2012-03-16

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(973 计划 2011CB403100); 中国地质调查局地质调查项目(1212011121253); 国家青年科学基金资助项目(41102033)

作者简介: 黄克贤(1986-), 男, 汉族, 硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: hkx0075@163.com; 通讯作者: 侯增谦(1961-), 男, 汉族, 博士, 研究员, 博士生导师, 长期从事大陆成矿作用研究, E-mail: houzengqian@126.com。

dant points for the two types of porphyries are  $132.1 \pm 1$  Ma and  $62.4 \pm 0.6$  Ma, respectively. Typical sedimentary ore bodies were not found during the field survey, but large volumes of skarn ores were found in most ore bodies, indicating that metals of the Yaguila Pb-Zn-Ag deposit were most likely derived from magmatic hydrothermal fluids related to both the light-brown porphyry and the gray porphyry. Therefore, two stages of magma events were found in this ore deposit. The first magma event occurred in the early Cretaceous, related to the light-brown porphyry, which was superimposed by the second mineralization event related to the gray porphyry in the Paleocene. Combined with the results of previous researchers, the authors hold that the ore-forming process dominated by Pb-Zn-Ag mineralization on the north margin of the Gangdise belt occurred during Cretaceous-Miocene period. Intense Pb-Zn-Ag mineralization implies that the paleo-basement of northern Gangdise belt might have played an important role in controlling the metal types of the mineralization in this area.

**Key words:** skarn deposit; zircon U-Pb dating; mineralization events; Yaguila; Tibet

最近 10 年的研究与勘查表明,在冈底斯斑岩铜矿带北侧,发育了一条东西延伸达数百公里的具有较大成矿远景的 Pb-Zn-Ag-Cu 多金属成矿带(孟祥金等, 2003;杜欣等, 2004, 2010;侯增谦等, 2006b;程顺波等, 2008;张林奎等, 2008;连永牢等, 2009;高一鸣等, 2009;王立强等, 2010;李奋其等, 2010)成为继冈底斯斑岩铜矿带取得重大突破后(芮宗瑶等, 2003;侯增谦等, 2003, 2004, 2006b, 2006c, 2006d; Qu *et al.*, 2004;李光明等, 2006a, 2006b;郑有业等, 2007;Hou and Cook, 2009)的另一条巨型成矿带。目前,该成矿带内已发现 Pb-Zn-Ag-Cu 多金属矿床 10 余处,其中多个矿床已达大型-超大型水平。已有研究表明,该带内的帮浦砂卡岩型铜多金属矿床形成于中新世(辉钼矿 Re-Os 年龄  $15.32 \pm 0.79$  Ma, 孟祥金等, 2003);蒙亚啊层状砂卡岩型 Pb-Zn 矿床既有形成于中新世(锆石 U-Pb 年龄  $13.9 \pm 0.27$  Ma, 程顺波等, 2008),又有形成于白垩纪(王立强等, 2010)的认识。纳如松多和龙马拉砂卡岩型 Pb-Zn 矿床均形成于古新世(绢云母 Ar-Ar 法年龄  $57.81 \pm 0.66$  Ma, 孟祥金等, 未发表数据;白云母 Ar-Ar 法年龄  $56.32 \pm 0.48$  Ma, 郑远川等, 未发表数据)。由此可见,冈底斯北侧 Pb-Zn-Ag-Cu 多金属成矿带内矿床并非同一构造事件的产物,而是经历了复杂的成矿过程。因此,要正确认识成矿带成矿作用的演化机制,准确评价成矿带成矿潜力,建立成矿带内各个矿床的时空格架便显得尤为重要。

亚贵拉 Pb-Zn-Ag 矿床是冈底斯北侧 Pb-Zn-Ag-Cu 多金属成矿带内的重要成员,其勘探程度较区内其他矿床相对更高,资源量铅+锌 278.11 万吨,银 294.54 吨。目前该矿床的形成机制和成矿时代均未得到统一认识。部分学者(张哨波等, 2009;连永牢

等, 2009;杜欣等, 2010)认为亚贵拉是海底喷流沉积-岩浆热液叠加改造型矿床,即早期形成的海底喷流沉积含矿层遭受了后期岩浆热液的叠加,并得以进一步富集。然而,高一鸣等(2009)则认为该矿床仅为岩浆热液作用的结果,广泛分布于矿区的白垩纪花岗斑岩( $128 \pm 1.0$  Ma)便是成矿物质的主要来源。近来,通过对亚贵拉矿床的详细研究,发现区内广泛分布的棕红色花岗斑岩和灰白色石英斑岩内均发育有强烈的矿化。本文利用激光电感耦合等离子质谱(LA-ICP-MS)对两套酸性岩内分离出的锆石进行了阴极发光研究和 U-Pb 定年。实验结果显示两套斑岩分别形成于  $132.1 \pm 1$  Ma 和  $62.4 \pm 0.6$  Ma,表明亚贵拉多金属矿床经历了早白垩世与棕红色花岗斑岩有关的岩浆事件,然后于古新世又受到了与灰白色石英斑岩有关的浆热液成矿作用。

## 1 地质背景

亚贵拉 Pb-Zn-Ag 多金属矿床位于冈底斯岩浆弧北侧,地处念青唐古拉山脉南侧支脉北坡,大地构造位置处于冈底斯-念青唐古拉板片之念青唐古拉中生代岛链隆起带及朱拉-门巴陆内裂谷带上,处于冈底斯北成矿带东部、门巴-多其木断裂北侧(唐菊兴等, 2009)(图 1)。

区内岩浆岩活动强烈,其成岩时代主要集中于侏罗纪到始新世。侏罗纪-白垩纪岩浆活动主要以中酸性的闪长岩、花岗闪长岩、花岗斑岩为特征,并与新特提斯洋持续向北俯冲相关(莫宣学等, 2005;纪伟强等, 2009)。然而,区内古新世-始新世岩浆岩则以酸性岩为主并与印度-欧亚陆陆初始强烈碰撞有关。在陆陆碰撞的初期,印度大陆岩石圈向欧亚

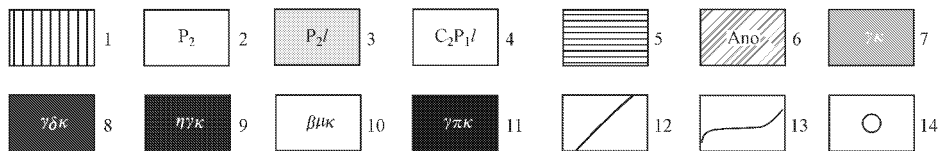
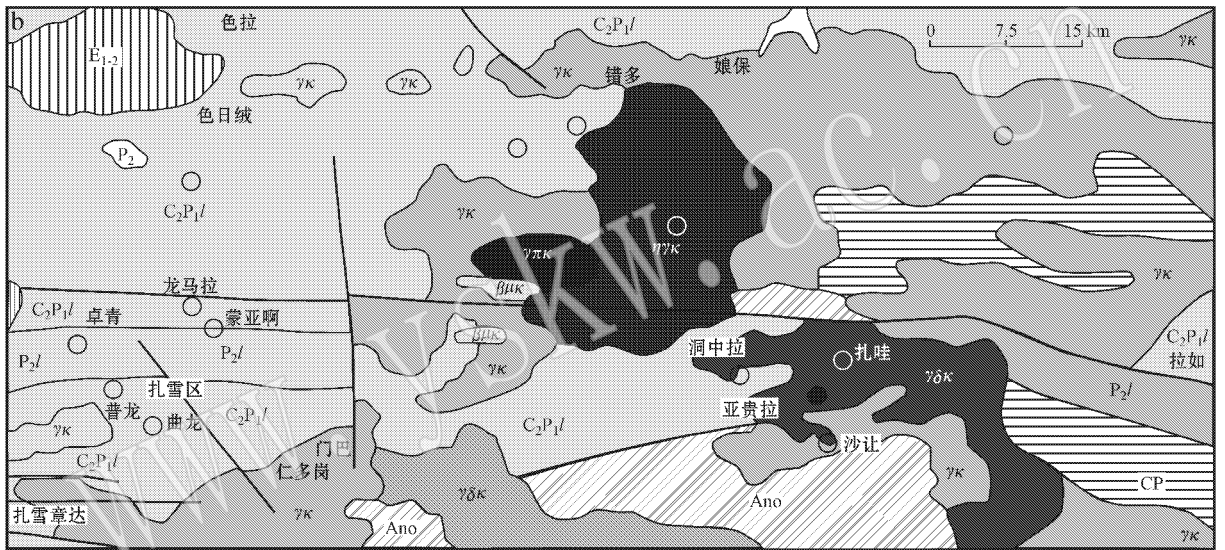
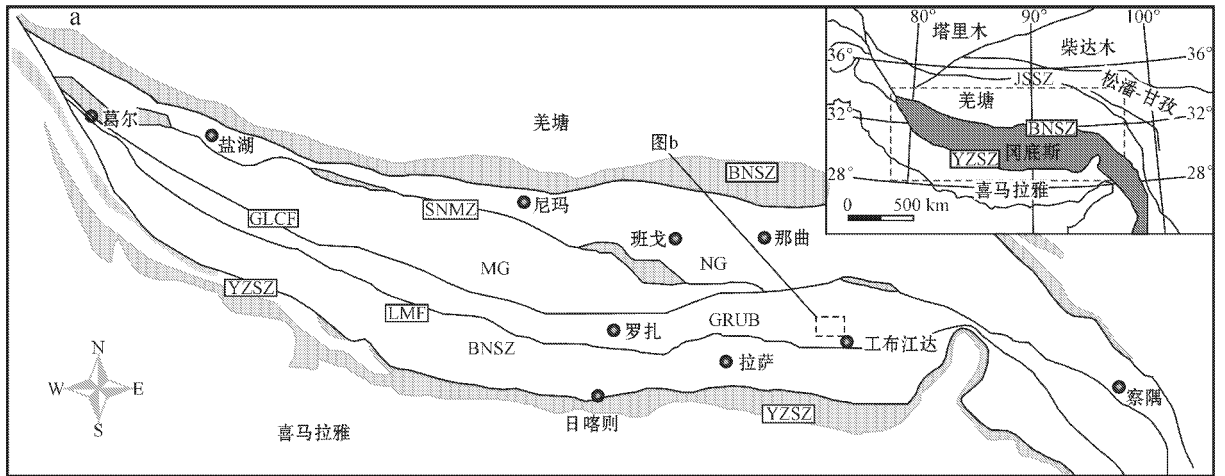


图 1 青藏高原及冈底斯构造单元划分地质简图 a 据朱弟成等 (2009) 修改 和冈底斯北带 Pb-Zn 矿床分布图 (b)

Fig. 1 Simplified geological map of tectonic outline of the Gangdise belt and Tibetan Plateau (a, modified from Zhu

Dicheng *et al.*, 2009) and distribution of Pb-Zn deposits in northern Gangdise belt (b)

JSSZ—金沙江缝合带; BNSZ—班公湖-怒江缝合带; SNMZ—狮泉河-纳木错蛇绿混杂岩带; GLCF—葛尔-隆格尔-措麦断裂带; LMF—洛巴堆-米拉山断裂带; YZSZ—雅鲁藏布江缝合带; NG—北冈底斯; MG—中冈底斯; GRUB—冈底斯弧背断隆带; SG—南冈底斯; 1—古近纪火山岩、火山碎屑岩; 2—下二叠统地层; 3—洛巴堆组: 底部生物碎屑灰岩, 顶部晶屑凝灰岩; 4—来姑组: 滨海相细碎屑岩夹碳酸盐岩透镜体, 含有中基性火山岩夹层; 5—石炭-二叠地层; 6—前寒武系变质岩; 7—花岗斑岩; 8—花岗闪长斑岩; 9—二长花岗斑岩; 10—辉绿玢岩; 11—流纹斑岩; 12—断裂; 13—地质界线; 14—矿床

JSSZ—Jinshajiang suture zone; BNSZ—Bangong Co-Nujiang suture zone; SNMZ—Shiquan River-Nam Co ophiolitic melange zone; GLCF—Gar-Longgar-Cuomai fault; LMF—Luobadui-Mila Mountain fault; YZSZ—Yarlung Zangbo River suture zone; NG—Northern Gangdise; GRUB—Gangdise Retro-arc uplift belt; SG—southern Gangdise; 1—Paleogene volcanic and volcanic pyroclastic rock; 2—Lower Permian strata; 3—Luobadui Formation: bioclastic rock at the bottom, crystal tuff at the top; 4—Laigu Formation: littoral fine clastic rock intercalated with carbonate lenses, containing intermediate-basic volcanic rocks; 5—Carboniferous-Permian strata; 6—Precambrian metamorphic rocks; 7—granite porphyry; 8—granodiorite porphyry; 9—monzogranite porphyry; 10—diabase porphyry; 11—rhyolite porphyry; 12—fault; 13—geological boundary; 14—ore deposit

板块之下强烈俯冲,导致大面积林子宗火山岩系和大规模侵入岩的形成,从而形成了巨型规模的冈底斯碰撞期火山-岩浆带(莫宣学等,2003;Hou *et al.*, 2004;Chung *et al.*, 2005;侯增谦等,2006a)。冈底斯北带地层由石炭系-二叠系浅海相沉积组成,上石炭统-下二叠统以黑色岩系、灰岩及火山碎屑沉积为特征,上二叠统则以碳酸盐岩为主(Yin *et al.*, 1996)。区域褶皱和断裂构造发育,构造线整体呈近

东西向,受南北向挤压,在应力释放过程中区内产生了较多南北向的次级断裂。

## 2 矿床地质特征

亚贵拉矿区出露地层为上石炭统-下二叠统来姑组,主要由石英砂岩、变质板岩、灰岩、大理岩及角闪岩组成(图2)。矿区含矿地层岩性主要是石英砂岩、

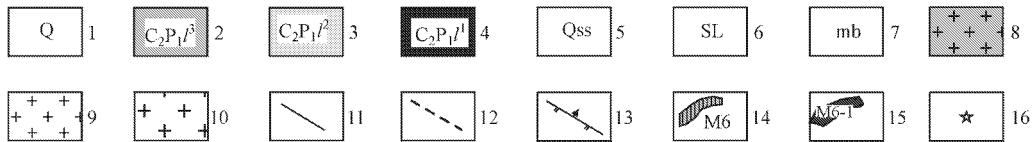
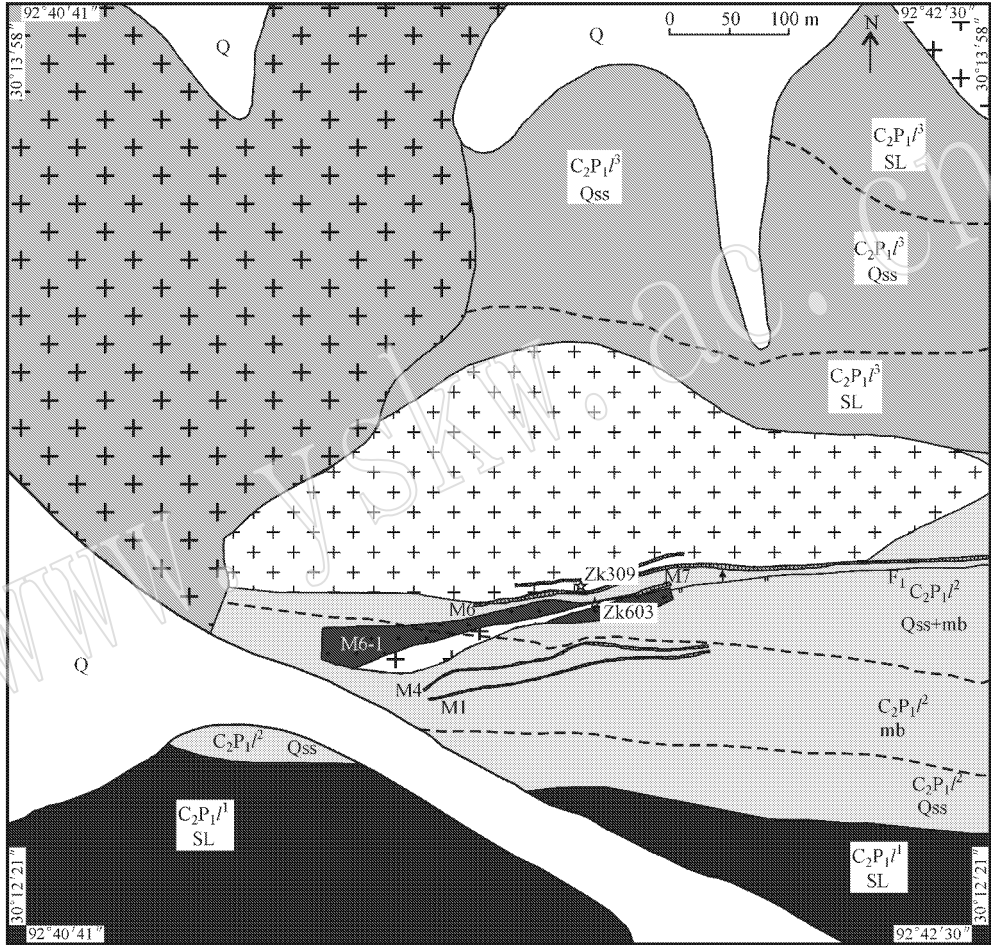


图 2 亚贵拉矿区地质图(据高一鸣等,2009)

Fig. 2 Geological map of the Yaguila mining area(after Gao Yiming *et al.*, 2009)

1—第四系;2—上石炭统-下二叠统来姑组第三段;3—上石炭统-下二叠统来姑组第二段;4—上石炭统-下二叠统来姑组第一段;5—变质石英砂岩;6—变质板岩;7—大理岩;8—花岗岩;9—花岗岩斑岩;10—石英斑岩;11—地质界线;12—岩性界线;13—断层及编号;14—铅锌矿体及编号;15—钼矿化带及编号;16—钻孔位置

1—Quaternary; 2— 3rd Member of Laigu Formation C<sub>2</sub>-P<sub>1</sub>; 3— 2nd Member of Laigu Formation C<sub>2</sub>-P<sub>1</sub>; 4—1st Member of Laigu Formation C<sub>2</sub>-P<sub>1</sub>; 5—metamorphic quartz sandstone; 6—sandy slate; 7—marble; 8—granite; 9—granite porphyry; 10—quartz porphyry; 11—geological boundary; 12—lithologic boundary; 13—location and serial number of fault; 14—location and serial number of Pb-Zn ore body; 15—location and serial number of molybdenum ore body; 16—location of drill hole

大理岩及灰岩。矿区断裂构造十分发育,中部北东向的次级断裂破碎带  $F_1$  为区内重要的控矿构造。 $F_1$  断裂在区内出露长度大于 7000 m,产状  $356^\circ \sim 12^\circ \angle 70^\circ \sim 83^\circ$ ,呈陡倾斜。该断裂具有多期活动性特点,主断裂面上常具光滑的后期构造滑脱遗迹。破碎带一般宽 10~40 m 不等,最宽可达 160 m,断裂东段破碎规模大于西段(连永牢等,2009)。

矿区内岩浆活动强烈,岩浆岩主要为黑云母花岗岩、花岗斑岩及石英斑岩,岩体与围岩呈侵入接触关系。棕红色花岗斑岩侵位于 M6 矿体上盘来姑组地层中,而灰白色石英斑岩则侵位于 M7 矿体和 M4 矿体之间的来姑组地层中。

亚贵拉 Pb-Zn-Ag 多金属矿床由多个层状矿体组成,其中 M1、M4、M6、M7 为矿床主矿体。矿体呈似层状赋存于由灰岩转变而来的矽卡岩和大理岩内。矽卡岩内矿石主要以块状构造为特征,而大理岩和斑岩内矿石则以脉状矿化为特征。矿石矿物主要为闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿、黄铁矿,其次还含有少量黄铜矿、白铁矿和毒砂(杜欣等,2010)。蚀变矿物为一套典型的矽卡岩组合,并可进一步分为早期石榴子石-透辉石化和晚期绿帘石-绿泥石-方解石化,并伴有强烈的硅化,其中晚期蚀变与 Pb-Zn-Ag 成矿密切相关。

通过对矿区钻孔 ZK309 岩芯的详细编录发现,钻孔内主要由来姑组地层和棕红色花岗斑岩组成(图 3)。钻孔内花岗斑岩被大量含硫化物网脉状石英切割(图 4a),其内硫化物以闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿及黄铁矿为主。同时,与岩体直接接触的灰岩地层发生了强烈的矽卡岩化,并伴有强烈硫化物矿化。这些矽卡岩矿石以块状构造为特征,而硫化物同样以闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿及黄铁矿为主。岩体内强烈的网脉状矿化和其围岩内的强烈矽卡岩化,表明该棕红色花岗斑岩具有较强的成矿能力。钻孔 ZK603 内地层同样以来姑组为主,而侵入岩则主要为一套灰白色的石英斑岩,棕红色花岗斑岩缺失(图 3)。石英斑岩同样被大量含硫化物石英网脉穿切(图 4b),而且与岩体接触的围岩同样发育有强烈矽卡岩化和硫化物矿化。石英斑岩内网脉状矿化和围岩中的块状硫化物矿化均以闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿及黄铁矿为主。显示,矿区内两套岩体对成矿均有贡献,但亚贵拉 Pb-Zn-Ag 多金属矿床的成矿物质主要来源于灰白色石英斑岩,而矿区内广泛分布的棕红色花岗斑岩对成矿贡献程度仍需进一步研究。

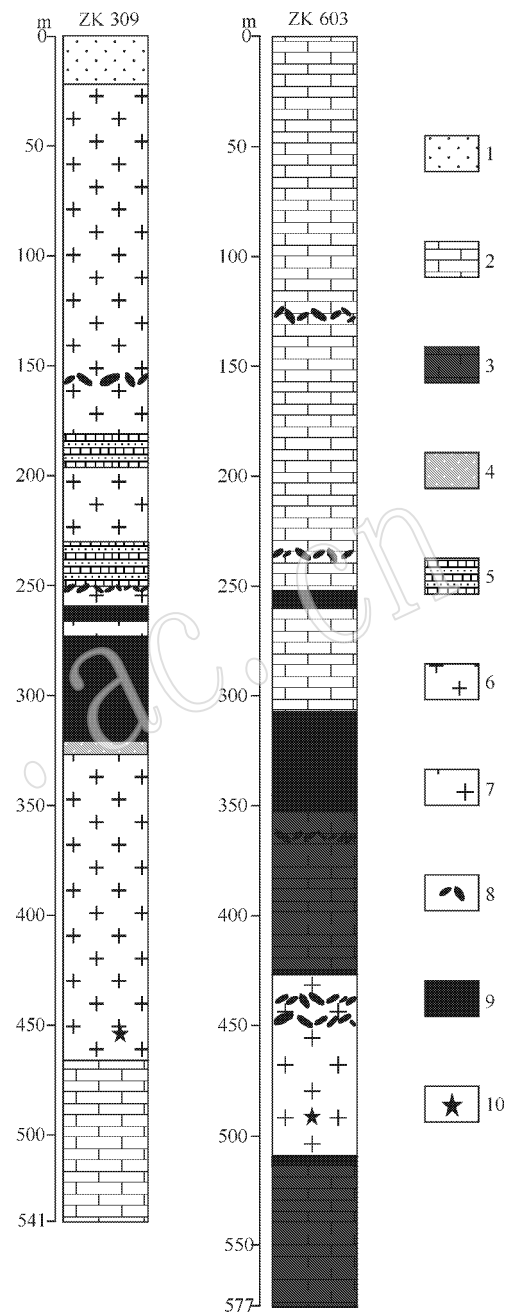


图 3 亚贵拉矿区钻孔柱状图

Fig. 3 Drilling columnar section of the Yaguila ore deposit  
1—第四纪浮土;2—细碎屑岩及碳酸盐岩建造;3—大理岩;4—有少量辉钼矿化的石英砂岩;5—强烈硅化石英砂岩;6—灰白色石英斑岩;7—棕红色花岗斑岩;8—石英脉中的方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿及黄铁矿等矿化;9—块状、浸染状方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿及黄铁矿等矿石,且发育大量的透辉石和石榴子石等;10—

1—Quaternary sediments;2—fine detrital rock and carbonate formation;3—marble;4—quartz sandstone;5—intense silicified quartz sandstone;6—gray quartz porphyry;7—light-brown porphyry;8—quartz vein type ore;9—skarn;10—sampling location for zircon U/Pb dating

花岗斑岩(YL-108)呈红棕色,岩石具有似斑状结构,块状构造。斑晶主要由石英(30%左右)、斜长石(10%左右)、钾长石(1%左右)等组成。石英斑晶呈半自形-他形粒状,粒径0.1~2.0 mm,斑晶形状较规则(图4c);斜长石斑晶呈半自形粒状,粒径0.2~1.0 mm,斑晶蚀变较为强烈,但其双晶仍清晰可见,零星分布;钾长石斑晶呈他形粒状,粒径0.1~

1.0 mm,斑晶蚀变较为强烈,零星分布。基质成分主要由流纹质矿物组成。样品 YL-26 为含硫化物石英脉的灰白色石英斑岩,岩石具有斑状结构。斑晶主要为石英(25%),斑晶主要呈半自形-他形粒状,粒径0.1~2.0 mm,斑晶形状不规则,边部大多被熔蚀(图4d)。基质成分主要为颗粒细小的长英质矿物组成,且被含硫化物石英脉呈网脉状穿切。

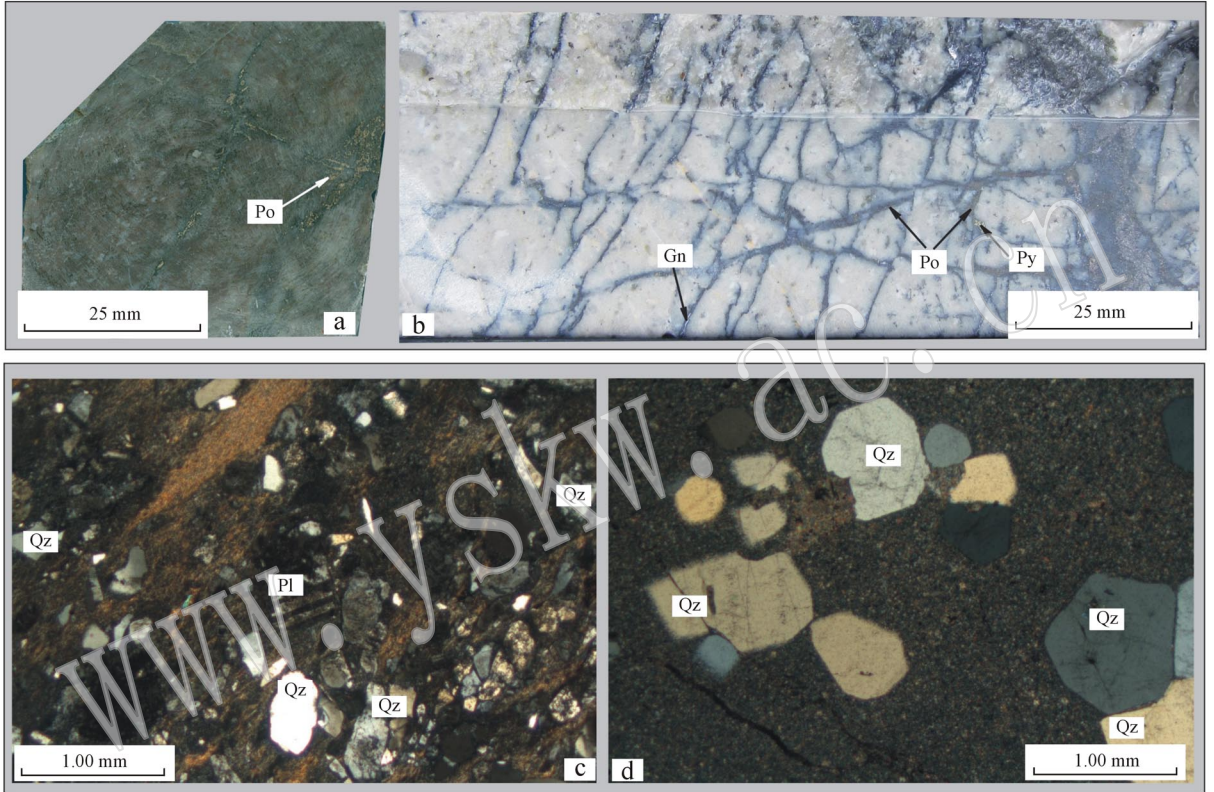


图4 西藏亚贵拉矿区岩体内脉状矿化照片与岩石显微镜照片

Fig. 4 Photographs and microphotographs of ores and porphyry from the Yaguila ore deposit, Tibet

a—棕红色花岗斑岩内脉状硫化物矿化; b—灰白色石英斑岩内网脉状硫化物矿化; c—强烈伊利石化的棕红色花岗斑岩; d—灰白色石英斑岩; Gn—方铅矿; Py—黄铁矿; Po—磁黄铁矿; Qz—石英; Pl—斜长石

a—ore-bearing stockwork quartz veins from the light-brown porphyry; b—ore-bearing stockwork quartz veins from gray quartz porphyry; c—intensely altered light-brown porphyry; d—quartz phenocrysts in gray quartz porphyry; Gn—galena; Py—pyrite; Po—pyrrhotite; Qz—quartz; Pl—plagioclase

### 3 锆石 U-Pb 年龄测定

#### 3.1 锆石特征及测试方法

分别对钻孔 ZK309 和 ZK603 内的棕红色花岗斑岩(YL-108)和灰白色石英斑岩(YL-26)进行了锆石单矿物分离(采样位置见图3)。锆石是按照常规重力和磁选方法分选,然后在双目镜下挑纯,选出晶

形较好、具有代表性的锆石粘贴在环氧树脂上浇铸制作成样品靶,将靶上锆石粗磨、细磨至约一半使锆石中心部位暴露并抛光,然后对样靶进行透射光、反射光及阴极发光扫描电镜照相。通过对透射光、反射光及阴极发光扫描电镜图像的观察、分析,确定锆石的类型,避开表面有裂隙,内部有包裹体的锆石选择待测点。锆石阴极发光(CL)图像在北京大学地球物理学院电镜室扫描电镜加载阴极发光仪上完成。

锆石 U-Pb 同位素组成分析在中国地质大学(北京)地学实验中心激光剥蚀电感耦合等离子体质谱实验室完成。激光剥蚀系统配备有美国 New Wave 贸易有限公司 UP193SS 型激光器,激光波长 193 nm,装载 He 气,其流速为 0.7 L/min,束斑直径 36  $\mu\text{m}$ ,激光频率 10 Hz,预剥蚀时间 5 s,剥蚀时间 45 s。ICP-MS 条件:美国 Agilent 科技有限公司 7500a 型质谱,辅助气为 Ar 气,其流速 1.13 L/min,RF 功率为 1350 W,元素积分时间 U、Th、Pb 为 20 ms,其他元素为 15 ms。样品同位素比值及元素含量计算采用 Glitter 4.4.1 程序,年龄计算及谐和图绘制采用 Iso-plot 完成,年龄计算时以标准锆石 TEM 为外标进行同位素比值校正,标准锆石 Qinghu 和 91500 为监控盲样,元素含量以国际标样 NIST610 为外标,Si 为内标计算,NIST612 和 NIST614 做监控盲样。LA-ICP-MS 分析的详细方法和流程见袁洪林等(2003)、徐平等(2004)。

### 3.2 测试结果

对亚贵拉矿区两类不同石英斑岩的锆石进行了共计 49 个测试点的 LA-ICP-MS 分析,U-Pb 同位素组成见表 1。图 5 和图 6 为被测锆石的阴极发光(CL)图像、测定点位和相应的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 视年龄。定年锆石大部分短柱状到长柱状自形晶,长度约为 70~200  $\mu\text{m}$ ,宽度约为 60~150  $\mu\text{m}$ ,长宽比为 1.05:1~3:1。锆石的 U、Th 含量分别介于  $103.96 \times 10^{-6}$ ~ $3243.32 \times 10^{-6}$  和  $119.68 \times 10^{-6}$ ~ $2634.84 \times 10^{-6}$ ,Th/U 比值介于 0.442 454~1.396 553。结合锆石的阴极发光(CL)图像,锆石晶体柱面平直发育,多数具有亮色的阴极发光,在阴极发光下具有明显的震荡环带结构,表现为典型的岩浆锆石的特点(陈志洪等,2009)。

棕红色花岗斑岩(YL-108)的 24 个测点除 YL-108-5(212  $\pm$  3 Ma)、YL-108-21(575  $\pm$  8 Ma)外,所获年龄数据在 130  $\pm$  3 Ma~135  $\pm$  4 Ma 之间,较为集中。在 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ~ $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和图上,样品点均投影在谐和线或谐和线附近,其加权平均值为 132.1  $\pm$  1 Ma( $n=22$ ,MSWD=0.27)(图 7)。灰白色石英斑岩(YL-26)测年所获得的数据,除去 YL-26-2(86  $\pm$  1 Ma)、YL-26-10(610  $\pm$  10 Ma)、YL-26-20(54.8  $\pm$  0.6 Ma)均在 60.6  $\pm$  0.8 Ma~65.5  $\pm$  1 Ma 之间,较为集中,在 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ~ $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和图上样品点均投影在谐和线或谐和线附近,其加权平均值为 62.4  $\pm$  0.6 Ma( $n=22$ ,MSWD=2.1)(图 8)。部分

测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄与谐和年龄相差较大,主要是由于测点选在了锆石的核部或核边交界的部位。

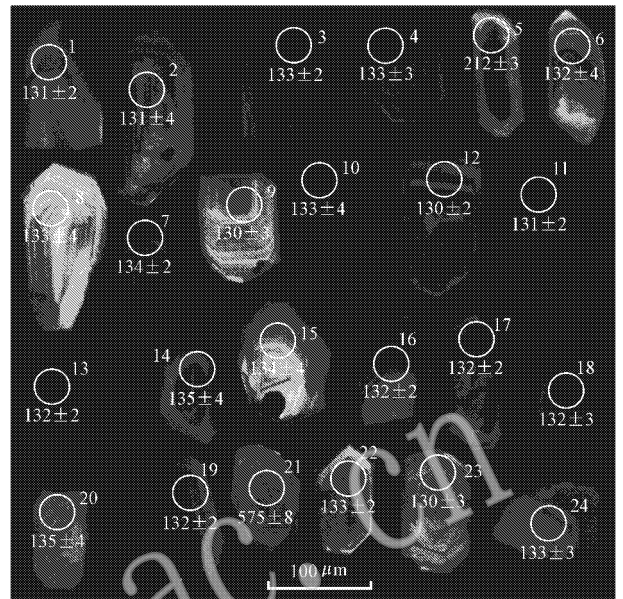


图 5 西藏亚贵拉矿区棕红色花岗斑岩(YL-108)锆石的 CL 图像

Fig. 5 Cathodoluminescence images(CL) for zircons from light-brown porphyry(YL-108) in the Yaguila ore deposit, Tibet

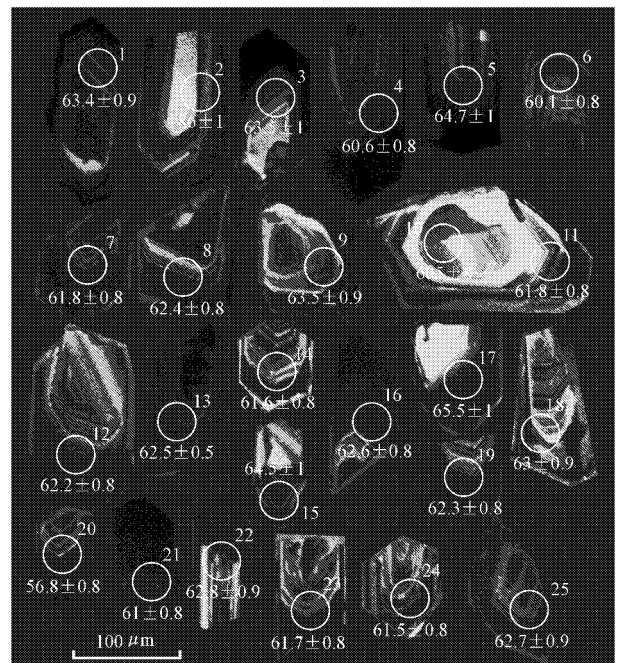


图 6 西藏亚贵拉矿区灰白色石英斑岩(YL-26)锆石的 CL 图像

Fig. 6 Cathodoluminescence images(CL) for zircons from gray quartz porphyry(YL-26) in the Yaguila ore deposit, Tibet

表 1 西藏亚贵拉矿区斑岩中锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 测年分析结果

Table 1 LA-ICP-MS U-Pb data of zircon for the two types of porphyries from the Yaguala ore deposit, Tibet

点号	$w_B/10^{-6}$		$^{232}\text{Th}$		$^{238}\text{U}$		$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		同位素比值		年龄/My			
	$^{232}\text{Th}$	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
YL26-01	872.99	1457.38	0.599 013 298	0.047 20	0.001 44	0.064 50	0.001 98	0.009 88	0.000 14	59	45	63	2	63.4	0.9	
YL26-03	445.08	748.64	0.594 518 059	0.047 31	0.002 00	0.064 55	0.002 73	0.009 90	0.000 15	65	66	64	3	63.5	1.0	
YL26-04	698.17	1 577.95	0.442 453 817	0.047 11	0.001 53	0.061 36	0.002 00	0.009 45	0.000 13	55	48	60	2	60.6	0.8	
YL26-05	401.41	800.23	0.501 618 285	0.048 11	0.001 87	0.066 92	0.002 60	0.010 09	0.000 15	105	62	66	2	64.7	1.0	
YL26-06	1 300.43	1 913.15	0.679 732 379	0.048 69	0.001 44	0.062 82	0.001 88	0.009 36	0.000 13	133	44	62	2	60.1	0.8	
YL26-07	916.24	1 560.59	0.587 111 285	0.046 11	0.001 50	0.061 27	0.002 01	0.009 64	0.000 13	3	43	60	2	61.8	0.8	
YL26-08	738.54	1 634.97	0.451 714 710	0.047 02	0.001 46	0.063 07	0.001 97	0.009 73	0.000 13	50	46	62	2	62.4	0.8	
YL26-09	718.48	1 192.04	0.602 731 452	0.047 51	0.001 58	0.064 84	0.002 16	0.009 90	0.000 14	75	51	64	2	63.5	0.9	
YL26-11	840.66	1 584.67	0.530 495 308	0.046 46	0.001 45	0.061 77	0.001 94	0.009 64	0.000 13	22	43	61	2	61.8	0.8	
YL26-12	1 033.64	1 781.74	0.580 129 536	0.046 67	0.001 39	0.062 41	0.001 87	0.009 70	0.000 13	32	41	61	2	62.2	0.8	
YL26-13	2 529.66	1 958.79	1.291 440 124	0.049 71	0.001 39	0.066 78	0.001 89	0.009 74	0.000 13	181	41	66	2	62.5	0.8	
YL26-14	1 306.57	1 902.16	0.686 887 538	0.047 22	0.001 40	0.062 50	0.001 87	0.009 60	0.000 13	60	44	62	2	61.6	0.8	
YL26-15	640.89	706.41	0.907 249 331	0.049 24	0.002 05	0.068 22	0.002 83	0.010 05	0.000 15	159	69	67	3	64.5	1.0	
YL26-16	1 063.48	1 867.29	0.569 531 246	0.045 45	0.001 45	0.061 18	0.001 97	0.009 76	0.000 13	-31	42	60	2	62.6	0.8	
YL26-17	521.62	844.99	0.617 309 081	0.047 05	0.001 83	0.066 24	0.002 58	0.010 21	0.000 15	52	59	65	2	65.5	1.0	
YL26-18	674.29	1 367.90	0.492 938 080	0.050 56	0.001 62	0.068 47	0.002 21	0.009 82	0.000 14	221	48	67	2	63.0	0.9	
YL26-19	1 463.09	2 177.74	0.671 838 695	0.048 74	0.001 44	0.065 25	0.001 95	0.009 71	0.000 13	135	45	64	2	62.3	0.8	
YL26-21	2 634.84	3 243.32	0.812 389 773	0.047 55	0.001 36	0.062 36	0.001 80	0.009 51	0.000 13	77	43	61	2	61.0	0.8	
YL26-22	633.80	1 140.07	0.555 930 776	0.047 15	0.001 71	0.063 63	0.002 31	0.009 79	0.000 14	57	54	63	2	62.8	0.9	
YL26-23	2 335.75	3 038.92	0.768 611 875	0.046 88	0.001 41	0.062 19	0.001 88	0.009 62	0.000 13	43	43	61	2	61.7	0.8	
YL26-24	1 805.49	1 982.70	0.910 621 879	0.047 37	0.001 48	0.062 59	0.001 97	0.009 58	0.000 13	68	47	62	2	61.5	0.8	
YL26-25	692.44	1 205.05	0.574 615 161	0.046 98	0.001 70	0.063 35	0.002 30	0.009 78	0.000 14	48	54	62	2	62.7	0.9	
YL108-01	183.72	151.55	1.212 273 177	0.049 20	0.002 98	0.139 73	0.008 39	0.020 60	0.000 34	157	106	133	7	131.0	2.0	
YL108-02	229.47	226.43	1.013 425 783	0.047 77	0.003 52	0.135 48	0.009 94	0.020 57	0.000 32	88	133	129	9	131.0	4.0	
YL108-03	274.25	270.95	1.012 179 369	0.045 87	0.002 20	0.131 68	0.006 28	0.020 82	0.000 31	-9	73	126	6	133.0	2.0	
YL108-04	188.39	206.24	0.913 450 349	0.047 54	0.002 80	0.137 01	0.007 99	0.020 90	0.000 34	76	98	130	7	133.0	3.0	
YL108-06	259.11	247.06	1.048 773 577	0.055 57	0.002 90	0.158 41	0.008 20	0.020 67	0.000 32	435	88	149	7	132.0	4.0	



续表 1  
Continued Table 1

点号	$w_B/10^{-6}$		同位素比值				年龄/Ma								
	$^{232}\text{Th}$	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$1\sigma$				
YL108-07	424.42	472.83	0.897 616 479	0.048 78	0.001 79	0.140 87	0.005 17	0.020 94	0.000 30	137	59	134	5	134.0	2.0
YL108-08	119.68	103.96	1.151 212 005	0.048 54	0.004 47	0.140 01	0.012 75	0.020 92	0.000 42	126	166	133	11	133.0	4.0
YL108-09	170.83	280.48	0.609 063 035	0.052 30	0.002 84	0.147 33	0.007 96	0.020 43	0.000 32	299	95	140	7	130.0	3.0
YL108-10	139.14	160.41	0.867 402 282	0.054 14	0.004 26	0.156 07	0.012 20	0.020 91	0.000 35	377	147	147	11	133.0	4.0
YL108-11	531.11	723.27	0.734 317 751	0.048 45	0.001 57	0.136 97	0.004 45	0.020 50	0.000 29	121	50	130	4	131.0	2.0
YL108-12	531.58	717.02	0.741 374 020	0.049 83	0.002 00	0.140 33	0.005 63	0.020 42	0.000 29	187	67	133	5	130.0	2.0
YL108-13	1 093.37	1 774.53	0.616 146 247	0.048 79	0.001 31	0.138 73	0.003 78	0.020 62	0.000 28	138	39	132	3	132.0	2.0
YL108-14	199.75	159.46	1.252 665 245	0.048 85	0.003 22	0.142 11	0.009 27	0.02 110	0.000 36	141	115	135	8	135.0	4.0
YL108-15	232.54	166.51	1.396 552 760	0.048 12	0.003 28	0.139 44	0.009 43	0.021 02	0.000 35	105	119	133	8	134.0	4.0
YL108-16	529.69	839.17	0.631 207 026	0.048 56	0.001 71	0.138 42	0.004 89	0.020 68	0.000 29	127	57	132	4	132.0	2.0
YL108-17	244.21	229.39	1.064 606 129	0.048 44	0.002 56	0.137 71	0.007 20	0.020 62	0.000 33	121	89	131	6	132.0	2.0
YL108-18	223.45	215.90	1.034 969 893	0.048 56	0.002 65	0.138 45	0.007 50	0.020 68	0.000 32	127	94	132	7	132.0	3.0
YL108-19	299.96	417.14	0.719 087 117	0.051 37	0.002 14	0.146 51	0.006 07	0.020 69	0.000 31	257	68	139	5	132.0	2.0
YL108-20	147.67	193.23	0.764 218 807	0.047 90	0.003 22	0.140 14	0.009 34	0.021 22	0.000 35	94	117	133	8	135.0	4.0
YL108-22	306.87	307.51	0.997 918 767	0.047 80	0.002 32	0.136 87	0.006 60	0.020 77	0.000 31	89	80	130	6	133.0	2.0
YL108-23	162.44	149.79	1.084 451 566	0.054 86	0.003 41	0.153 55	0.009 46	0.020 30	0.000 34	407	108	145	8	130.0	3.0
YL108-24	219.23	189.03	1.159 763 001	0.055 94	0.003 65	0.161 22	0.010 36	0.020 90	0.000 38	450	111	152	9	133.0	3.0

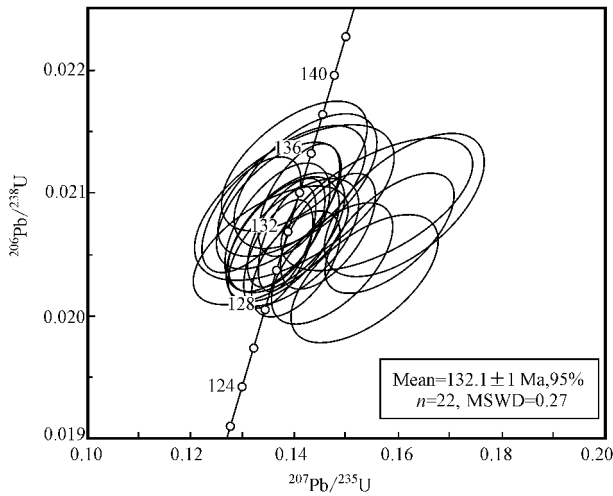


图7 西藏亚贵拉矿区棕红色花岗斑岩(YL-108)的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和图解

Fig. 7  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  concordia diagrams of zircons from light-brown porphyry(YL-108) in the Yaguila ore deposit, Tibet

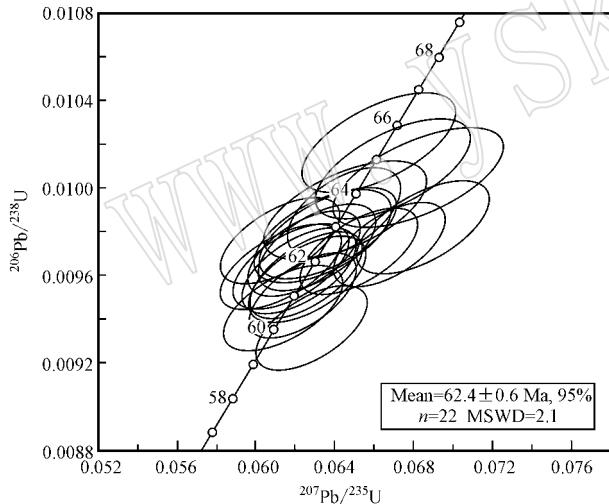


图8 西藏亚贵拉矿区灰白色石英斑岩(YL-26)的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和图解

Fig. 8  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  concordia diagrams of zircons from gray quartz porphyry(YL-26) in the Yaguila ore deposit, Tibet

## 4 讨论

对两期不同特征含矿斑岩的锆石 U-Pb 定年显示,亚贵拉矿区经历了白垩纪和古新世两次岩浆事件。尽管部分研究者(连永军等,2009;张哨波等,

2009;杜欣等,2010)非常强调亚贵拉 Pb-Zn-Ag 多金属矿床存在早期晚古生代海底喷流沉积作用形成的初始富集。然而,高一鸣等(2009)和本文的研究并未发现典型喷流沉积硫化物矿体的存在。无论是否存在早期喷流沉积的初始富集,亚贵拉区内各主要矿体均发育于强烈矽卡岩化的地层之中,表明该矿床的成矿作用应该主要受岩浆热液控制。

亚贵拉矿区棕红色花岗斑岩和灰白色石英斑岩的成岩年龄分别为  $132.1 \pm 1$  Ma 和  $62.4 \pm 0.6$  Ma, 显示该矿区既经历了早白垩世新特提斯洋向北俯冲阶段的岩浆作用,又遭受了印度-欧亚大陆板块陆-陆初始碰撞阶段的岩浆作用(莫宣学等,2005;侯增谦等,2006b)。根据野外地质特征,可以看出矿区内两期岩浆事件均伴随有强烈的成矿作用,笔者认为亚贵拉 Pb-Zn-Ag 多金属矿床成矿物质主要源于古新世含矿岩浆热液,而白垩纪岩浆热液对该矿床形成可能有一定的贡献,但需进一步研究。

特提斯洋向欧亚板块的俯冲导致了著名的冈底斯岩浆弧的形成。尽管冈底斯弧岩浆活动强烈,但与之有密切成因联系的矿床却鲜有报道。目前除了本文报道的亚贵拉矿床(高一鸣等,2009)外,仅有可能受侏罗纪岩浆作用控制的雄村斑岩型铜矿颇具规模(陈渊等,2008)。与新特提斯洋俯冲相关的成矿作用较弱,可能与印度-欧亚陆陆碰撞导致青藏高原强烈隆升和剥蚀,致使早期与岛弧岩浆有关的矿床被大量破坏有关(Hou and Cook, 2009)。随着新特提斯洋的闭合,印度-欧亚板块于 65 Ma 左右对接,并由此开始了强烈的陆陆碰撞(侯增谦等,2006b),冈底斯带内发育了强烈的成矿作用。发育于冈底斯带南缘的吉如斑岩铜矿,锆石 U-Pb 年龄为  $48.68 \pm 0.49$  Ma(张刚阳等,2008)。在冈底斯北带同样也发生了强烈的矿化作用,如亚贵拉 Pb-Zn-Ag 多金属矿床(锆石 U-Pb 年龄  $62.4 \pm 0.6$  Ma),纳如松多 Ag-Pb 矿床(绢云母 Ar-Ar 法年龄 57.8 Ma,杨勇等,2010),洞中拉 Pb-Zn 矿床(石英 Ar-Ar 法年龄 42 Ma,费光春等,2010)等,显示出该成矿带内均以 Pb-Zn-Ag 矿化占主导。

结合前人已有的年龄(程顺波等,2008;高一鸣等,2009;汪立强等,2010;杨勇等,2010;费光春等,2010;孟祥金等,未发表数据;郑远川等,未发表数据)可以看出,冈底斯北缘 Pb-Zn-Ag 多金属成矿带的成矿事件从白垩纪一直持续到中新世。在如此漫长的地质历史中,冈底斯北带的成矿作用均以 Pb-

Zn-Ag 等贱金属矿化为特征,显示出拉萨地体中部古老基底的存在对矿床的金属类型具有强烈的控制作用(Zhu *et al.*, 2011)。

## 5 结论

(1) 亚贵拉 Pb-Zn-Ag 多金属矿床是冈底斯带北侧的一个典型的矽卡岩矿床,其成矿主要与古新世石英斑岩岩浆热液所携带的金属物质的富集沉淀有关,早白垩世花岗斑岩岩浆热液对该矿区成矿可能有一定的贡献,但仍需进一步研究。

(2) 亚贵拉矿床两套斑岩的定年结果显示,该矿区既经历了与早白垩世特提斯洋向北的俯冲有关早期岩浆事件(132 Ma),又经历了与印-亚大陆主碰撞过程有关晚期岩浆活动(62 Ma)。

(3) 冈底斯北缘成矿带从白垩纪到中新世均以 Pb-Zn 贱金属矿化为特征,显示出古老基底对该成矿带矿化金属的强烈控制。

**致谢** 在野外工作期间,江万老师给予了很多关心和帮助,河南省地质调查院提供了良好工作条件,并得到中国地质科学院高一鸣博士及中国地质大学硕士研究生罗茂澄的热心帮助,数据测试在苏犁老师的指导及于红、张红雨同学的帮助下完成,在论文撰写期间得到刘琰博士后的鼓励和帮助,在此一并表示感谢。

## References

- Chen Yuan, Tang Juxing, Sun Chuanmin, *et al.* 2008. A discussion on the alteration features and genesis of the Xiongcu Cu(Au) deposit in Xietongmen County, Tibet, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology( Science & Technology Edition), 35(3): 303~308(in Chinese with English abstract).
- Chen Zhihong, Guo Kunyi, Dong Yongguan, *et al.* 2009. Possible early Neoproterozoic magmatism associated with slab window in the Pingshui segment of the Jiangshan-Shaoxing suture zone: Evidence from zircon LA-ICP-MS U-Pb geochronology and geochemistry[J]. Science in China Series D: Earth Science, 52(7): 925~939.
- Cheng Shunbo, Pang Yingchun and Cao Liang. 2008. The Genesis of Mengya'a Skarn Lead-Zinc Deposit, Tibet[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 3: 50~56(in Chinese with English abstract).
- Chung Sunlin, Chu Meifei, Zhang Yuquan, *et al.* 2005. Tibetan tectonic evolution inferred from spatial and temporal variations in post-collisional magmatism[J]. Earth-Science Review, 68: 173~196.
- Du Xin, Liu Juntao and Wang Yaping. 2004. Geological character and ore genesis of the Lawu Copper-Lead-Zinc polymetallic ore deposit[J]. Mineral Resources and Geology, 18(5): 410~415(in Chinese with English abstract).
- Du Xin, Yang Changhai, Chen Junkui, *et al.* 2010. Geologic feature of Yaguila Pb-Zn-polymetallic deposit in Tibet[J]. Geological Survey and Research, 33(4): 257~265(in Chinese with English abstract).
- Fei Guangchun, Wen Chunqi, Zhou Xiong, *et al.* 2010. Laser microprobe 40Ar-39Ar geochronology of quartz from Dongzhongla lead-zinc deposit in Tibet and its significance[J]. J. Mineral Petrol, 30(3): 38~43(in Chinese with English abstract).
- Gao Yiming, Chen Yuchuan, Tang Juxing, *et al.* 2009. SHRIMP U-Pb dating of zircon from quartz porphyry in the Yaguila Pb-Zn-Mo deposit, Gongbujiangda County, Tibet and its geological implication[J]. Acta Geologica Sinica, 83(10): 1437~1444(in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian and Cook N J. 2009. Metallogenesis of the Tibetan collisional orogen: A review and introduction to the special issue[J]. Ore Geology Reviews, 36: 2~24.
- Hou Zengqian, Gao Yongfeng, Qu Xiaoming, *et al.* 2004. Genesis of adakitic porphyry and tectonic controls on the Gangdese Miocene porphyry copper belt in the Tibetan orogen[J]. Acta Petrologica Sinica, 20(2): 239~248(in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Gao Yongfeng, Qu Xiaoming, *et al.* 2004. Origin of adakitic intrusive generated during mid-Miocene east-west extension in southern Tibet[J]. Earth and Planetary Science Letters, 220: 139~155.
- Hou Zengqian, Lü Qingtian, Wang Anjian, *et al.* 2003. Continental collision and related metallogeny: A case study of mineralization in Tibetan orogen[J]. Mineral Deposits, 22(4): 319~333(in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Mo Xuanxue, Yang Zhiming, *et al.* 2006a. Metallogenesis in the collisional orogen of the Qinghai-Tibet Plateau: Tectonic setting, tempo-spatial distribution and ore deposit types[J]. Geology in China, 33(02): 340~351(in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Pan Guitang, Wang Anjian, *et al.* 2006b. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: II. Mineralization in late-collisional transformation setting[J]. Mineral Deposits, 25(05): 521~543(in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Qu Xiaoming, Yang Zhusen, *et al.* 2006c. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: III. Mineralization in post-collisional extension setting[J]. Mineral Deposits, 25(06): 629~651(in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Yang Zhusen, Xu Wenyi, *et al.* 2006d. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: I. Mineralization in main collisional orogenic setting[J]. Mineral Deposits, 25(04): 337~358(in Chinese with English abstract).
- Ji Weiqiang, Wu Fuyuan, Zhong Sunlin, *et al.* 2009. Geochronology and petrogenesis of granitic rocks in Gangdese batholiths, southern

- Tibe[ J ]. Science in China Series D: Earth Science, 52( 9 ): 1 240~1 261.
- Li Fenqi, Gao Ming, Tang Wenqing, *et al.* 2010. U-Pb zircon LA-ICP-MS age of the Yaguila molybdenum-bearing intrusion in Tibet and its geological significance[ J ]. Geology in China, 37( 6 ): 1 566~1 574( in Chinese with English abstract ).
- Li Guangming, Liu Bo, She Hongquan, *et al.* 2006a. Early Himalayan mineralization on the southern margin of the Gangdese metallogenic belt, Tibet, China: Evidence from Re-Os ages of the Chongmuda skarn-type Cu-Au deposit[ J ]. Geological Bulletin of China, 25( 12 ): 1 481~1 486( in Chinese with English abstract ).
- Li Guangming, Qin Kezhuang, Ding Kuishou, *et al.* 2006b. Geology and mineral assemblage of Tertiary skarn Cu-Au ± Mo deposits in the Southeastern Gangdese arc: implications for deep exploration [ J ]. Acta Geologica Sinica, 80( 9 ): 1 407~1 421( in Chinese with English abstract ).
- Lian Yonglao, Cao Xinzhi, Yan Changhai, *et al.* 2009. Geological characteristics and genesis of Tibet Province[ J ]. Geology and Exploration, 45( 5 ): 570~576( in Chinese with English abstract ).
- Meng Xiangjin, Hou Zengqian, Gao Yongfeng, *et al.* 2003. Development of porphyry copper-molybdenum-lead-zinc ore-forming system in East Gangdese Belt, Tibet: evidence from Re-Os age of molybdenite in Bangpu Copper polymetallic deposit[ J ]. Mineral Deposits, 22( 3 ): 246~252( in Chinese with English abstract ).
- Mo Xuanxue, Dong Guochen, Zhao Zhidan, *et al.* 2005. Spatial and temporal distribution and characteristics of granitoids in the Gangdese, Tibet and implication for crustal growth and evolution [ J ]. Geological Journal of China Universities, 11( 3 ): 281~290( in Chinese with English abstract ).
- Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, Deng Jinfu, *et al.* 2003. Response of volcanism to the India-Asia collision[ J ]. Earth Science Frontiers ( China University of Geoscience, Beijing ), 10( 3 ): 135~148( in Chinese with English abstract ).
- Qu Xiaoming, Hou Zengqian and Li Youguo. 2004. Melt components derived from a subducted slab in late orogenic ore-bearing porphyries in the Gangdese copper belt, southern Tibetan plateau[ J ]. Lithos, 74: 131~148.
- Rui Zongyao, Hou Zengqian, Qu Xiaoming, *et al.* 2003. Metallogenic epoch of Gangdese porphyry copper belt and uplift of Qinghai-Tibet Plateau[ J ]. Mineral Deposits, 22( 3 ): 217~225( in Chinese with English abstract ).
- Tang Juxing, Chen Yuchuan, Wang Denghong, *et al.* 2009. Re-Os dating of molybdenite from the Sharang porphyry molybdenum deposit in Gongbogyamda county, Tibet and its geological significance [ J ]. Acta Geologica Sinica, 83( 5 ): 698~704( in Chinese with English abstract ).
- Wang Liqiang, Gu Xuexiang, Cheng Wenbin, *et al.* 2010. Sulfur and lead isotope composition and tracing for the sources of ore-forming materials in the Mengya 'a Pb-Zn deposit, Tibet[ J ]. Geoscience, 24( 1 ): 52~58( in Chinese with English abstract ).
- Xu Ping, Wu Fuyuan, Xie Wenlie, *et al.* 2004. Hf isotopic compositions of standard zircons for U-Pb dating[ J ]. Chinese Science Bulletin, 49( 14 ): 1 642~1 648.
- Yang Yong, Luo Taiyi, Huang Zhilong, *et al.* 2010. Sulfur and lead isotope compositions of the Narusongduo silver zinc-lead deposit in Tibet: Implications for the sources of plutons and metals in the deposit[ J ]. Acta Mineralogica, 30( 3 ): 311~318( in Chinese with English abstract ).
- Yin An, Murphy M A, Harrison T M, *et al.* 1996. Miocene evolution of the Kailas thrust and Gurla Mandhata detachment fault, western Tibet: Implications for the displacement history of the Karakorum fault[ A ]. 11th Himalaya-Karakorum-Tibet[ C ]. Workshop, Abstract volume, Flagstaff, Arizona( USA ), 173~174.
- Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan, *et al.* 2003. Determination of U-Pb age and rare earth element of zircons from Cenozoic intrusions in northeastern China by laser ablation ICP-MS[ J ]. Chinese Science Bulletin, 48( 22 ): 2 411~2 421.
- Zhang Gangyang, Zheng Youye, Gong Fuzhi, *et al.* 2008. Geochronologic constraints on magmatic intrusions and mineralization of the Jiru porphyry copper deposit, Tibet, associated with continent-continent collisional process[ J ]. Acta Petrologica Sinica, 24( 3 ): 473~479( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Linkui, Fan Wenyu and Gao Dafa. 2008. Geology and Genesis of Leqingla Pb-Zn Polymetallic Deposit in the Linzhou Country, Tibet [ J ]. Geology and Prospecting, 44( 5 ): 10~16( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Shaobo, Gao Ming, Yue Guoli, *et al.* 2009. Geological characteristics and brief origin analysis of Yaguila Lead-Zinc deposit in Tibet[ J ]. Mineral Resources and Geology, 23( 4 ): 297~301( in Chinese with English abstract ).
- Zheng Youye, Zhang Gangyang, Xu Rongke, *et al.* 2007. Geochronologic constraints on magmatic intrusions and mineralization of the Zhunuo porphyry copper in Gangdese, Tibet[ J ]. Chinese Science Bulletin, 52( 22 ): 3 139~3 147.
- Zhu Dicheng, Mo Xuanxue, Wang Liqian, *et al.* 2009. Petrogenesis of highly fractionated I-type granites in the Zayu area of eastern Gangdese, Tibet Constraints from zircon U-Pb geochronology geochemistry and Sr-Nd-Hf isotopes[ J ]. Science in China( Series D ), 52( 9 ): 1 223~1 239.
- Zhu Dicheng, Zhao Zhidan, Niu Yaoling, *et al.* 2011. The Lhasa Terrane: Record of a microcontinent and its histories of drift and growth[ J ]. Earth and Planetary Science Letters, 301: 241~255.

## 附中文参考文献

- 陈 渊,唐菊兴,孙传敏,等. 2008. 西藏谢通门县雄村铜(金)矿蚀变特征及成因探讨[ J ]. 成都理工大学学报(自然科学版), 35( 3 ): 303~308.
- 陈志洪,郭坤一,董永观,等. 2009. 江西-绍兴拼合带平水段可能存在新元古代早期板片窗岩岩浆活动:来自锆石 LA-ICP-MS 年代学和地球化学的证据[ J ]. 中国科学 D 辑, 39( 7 ): 994~1 008.
- 程顺波,庞迎春,曹 亮. 2008. 西藏蒙亚阿砂卡岩铅锌矿床的成因

- 探讨[J]. 华南地质与矿产, 3: 50~56.
- 杜欣, 刘俊涛, 王亚平. 2004. 西藏拉屋铜铅锌多金属矿床地质特征及成因研究[J]. 矿产与地质, 18(5): 410~449.
- 杜欣, 燕长海, 陈俊魁, 等. 2010. 西藏亚贵拉铅锌多金属矿床的地质特征[J]. 地质调查与研究, 33(4): 257~265.
- 费光春, 温春齐, 周雄, 等. 2010. 西藏洞中拉铅锌矿床石英激光探针 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 定年及地质意义[J]. 矿物岩石, 30(3): 38~43.
- 高一鸣, 陈毓川, 唐菊兴, 等. 2009. 西藏工布江达县亚贵拉铅锌、钼多金属矿床石英斑岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. 地质学报, 83(10): 1436~1444.
- 侯增谦, 高永丰, 曲晓明, 等. 2004. 西藏冈底斯中新世斑岩铜矿带: 埃达克质斑岩成因与构造控制[J]. 岩石学报, 20(2): 1~10.
- 侯增谦, 吕庆田, 王建安, 等. 2003. 初论陆-陆碰撞与成矿作用[J]. 矿床地质, 22(4): 319~333.
- 侯增谦, 莫宣学, 杨志明, 等. 2006a. 青藏高原碰撞造山带成矿作用: 构造背景、时空分布和主要类型[J]. 中国地质, 33(2): 340~351.
- 侯增谦, 潘桂棠, 王建安, 等. 2006b. 青藏高原碰撞造山带: II. 晚碰撞转换成矿作用[J]. 矿床地质, 25(5): 521~543.
- 侯增谦, 曲晓明, 杨竹森, 等. 2006c. 青藏高原碰撞造山带: II. 后碰撞伸展成矿作用[J]. 矿床地质, 25(6): 629~651.
- 侯增谦, 杨竹森, 徐文艺, 等. 2006d. 青藏高原碰撞造山带: I. 主碰撞造山成矿作用[J]. 矿床地质, 25(04): 337~358.
- 纪伟强, 吴福元, 钟孙霖, 等. 2009. 西藏南部冈底斯岩基花岗岩时代与岩石成因[J]. 中国科学 D 辑, 39(7): 849~871.
- 李奋其, 高明, 唐文清, 等. 2010. 西藏亚贵拉含钼岩体锆石 LA-ICP-MS 年龄和地质意义[J]. 中国地质, 37(6): 1566~1574.
- 李光明, 刘波, 余安全, 等. 2006a. 西藏冈底斯成矿带南缘喜马拉雅早期成矿作用——自冲木达铜金矿床的 Re-Os 同位素年龄证据[J]. 地质通报, 25(12): 1481~1486.
- 李光明, 秦克章, 丁奎首, 等. 2006b. 冈底斯东段南部第三纪夕卡岩型 Cu-Au ± Mo 矿床地质特征、矿物组合及其深部找矿意义[J]. 地质学报, 80(9): 1407~1421.
- 连永牢, 曹新志, 燕长海, 等. 2009. 西藏工布江达县亚贵拉铅锌矿床地质特征及成因分析[J]. 地质与勘探, 45(5): 570~576.
- 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 等. 2003. 西藏冈底斯东段斑岩铜钼铅锌成矿系统的发育时限: 帮浦铜多金属矿床辉钼矿 Re-Os 年龄证据[J]. 矿床地质, 22(3): 246~252.
- 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 等. 2005. 西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息[J]. 高校地质学报, 11(3): 281~290.
- 莫宣学, 赵志丹, 邓晋富, 等. 2003. 印度-亚洲大陆主碰撞过程的火山作用影响[J]. 地学前缘, 10(3): 135~148.
- 芮宗瑶, 侯增谦, 曲晓明, 等. 2003. 冈底斯斑岩铜矿成矿时代及青藏高原隆升[J]. 矿床地质, 22(3): 217~224.
- 唐菊兴, 陈毓川, 王登红, 等. 2009. 西藏工布江达县沙让斑岩钼矿床辉钼矿——钼同位素年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 83(5): 698~704.
- 王立强, 顾雪祥, 程文斌, 等. 2010. 西藏蒙亚啊铅锌矿床 S、Pb 同位素组成及对成矿物质来源的示踪[J]. 现代地质, 24(1): 52~58.
- 徐平, 吴福元, 谢文烈, 等. 2004. U-Pb 同位素定年标准锆石的 Hf 同位素[J]. 科学通报, 49(14): 1403~1410.
- 杨勇, 罗泰义, 黄智龙, 等. 2010. 西藏纳如松多银铅矿 S、Pb 同位素组成: 对成矿物质来源的指示[J]. 矿物学报, 30(3): 311~318.
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 等. 2003. 东北地区新生代侵入岩的激光锆石探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析[J]. 科学通报, 48(14): 1511~1520.
- 张刚阳, 郑有业, 龚福志, 等. 2008. 西藏吉如斑岩铜矿: 与陆陆碰撞过程相关的斑岩成岩成矿时代约束[J]. 岩石学报, 24(3): 473~479.
- 张林奎, 范文玉, 高大发. 2008. 西藏林周县勒青拉铅锌多金属矿床地质特征及成因[J]. 地质与勘探, 44(5): 10~16.
- 张哨波, 高明, 岳国利, 等. 2009. 西藏亚贵拉铅锌矿床地质特征及成因浅析[J]. 矿产与地质, 23(4): 297~301.
- 郑有业, 张刚阳, 许荣科, 等. 2007. 西藏冈底斯朱诺斑岩铜矿床成岩成矿时代约束[J]. 科学通报, 52(21): 2542~2548.
- 朱弟成, 莫宣学, 王立权, 等. 2009. 西藏冈底斯东部察隅高分异 I 型花岗岩的成因: 锆石 U-Pb 年代学、地球化学和 Sr-Nd-Hf 同位素约束[J]. 中国科学 D 辑, 39(7): 833~848.